

경화능 계산(2)

Hardenability Calculation

정 겉 채

한국기계연구소 산업기술 전문교육원(구 FIC) 열처리도급과

1. 서론

열처리는 그 정의를 “필요한 기계적성질을 얻고자 일정한 온도로 가열하여 유지한 후 적절한 냉각속도로 냉각하여 조직의 변화를 일으키는 일련의 가열냉각 조작”이라고 할 수 있다.

오늘날 열처리는 이러한 고전적인 의미에서 확장되어 열로 처리하는 것을 거의 모두 포함하고 있지만, 대부분의 열처리는 Annealing, Normalizing, Quenching, Tempering으로서 고전적인 의미에 부합되는 것이고, 그 외의 방법들은 이를 응용, 변화시킨 것이다.

이렇게 많은 열처리 중에서도 가장 많이 쓰이고 있어 가장 중요한 것은, 대부분의 열처리 목적이 기계적 성질의 향상에 있으므로 경도의 증가에 의한 강도의 증가를 꾀하는 Quenching이다.

경화능이란 Quenching의 목적인 경화에 있어서 전체 경화, 표면경화, 국부경화를 막론하고 가장 중요한 강재자체의 경화될 수 있는 능력을 말하며, 이는 또한 냉각제의 냉각능력과 함께 불가분의 관계를 가지고 있다.

이러한 점에서 경화능의 수치적인 개념은 매우 의미있으며 그 이용도에서도 중요시되어 이제까지 많은 사람의 연구가 행해져 왔다.

본 란에서는 열처리공학회지 제2권 제2호(1989.6) p46~54에서 소개한 “경화능 계산”에 이어 보다 구체적이고 이용효과가 있는 사항을 추가로 소개하며 이해를 돕기 위하여 지난호의 내용을 열거하면 다음과 같다.

1. 서론

1) 경화능이란

2) 경화능에 영향을 주는 요인

3) 냉각속도에 따른 조직변태

4) 급냉시의 변태

5) 질량효과와 경화능

2. 경화능 계산

1) Jominy Test

2) 경화능 계산법

① 용어의 정의 : D_c , D_e , D_1 , H, IH, DH

② D_1 의 계산

㉠ 임도 및 합금성분에 의한 적산법 : 그림 11, 12

㉡ ASTM법 : 표 1

③ D_c 의 계산

㉠ 현미경법(부식법), 경도법 : 그림 13

㉡ D_1 및 H상관도표에서 산출 : 그림 14

④ H의 계산 : 그림 15, 16, 17

2. D_1 , D_c , H의 관계

이제까지의 내용에서 알수 있듯이 급냉에 의한 강의 경화에는 담금질액의 냉각성능(H)과 담금질액에 관계없이 강재 본래의 경화성능(D_1)이 관계되며, 실제 열처리에서는 이 두 가지의 조합에 의하여 강재의 경화 임계직경(D_c)으로 나타난다.

다음 그림 1은(지난호 그림 14) D_1 - D_c -H의 상관관계로 이 그림에서 전술한 바와같이 D_c 를 구할 수 있으며, 또 D_1 , D_c , H 3가지 요소중 2가지를 알면 나머지 1요소는 쉽게 알 수 있음을 볼 수 있다.

그림 2는 D_1 의 계산법으로 많이 사용되는 것으로 그림 3(지난호 그림 2)에서 강재의 탄소함유량에 따라

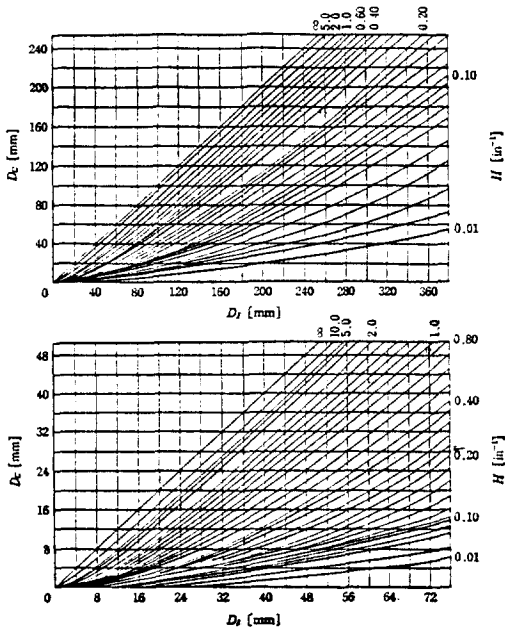


그림 1. D_1 - D_2 - H 의 관계

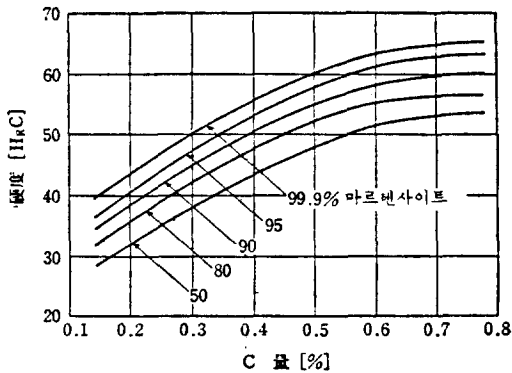


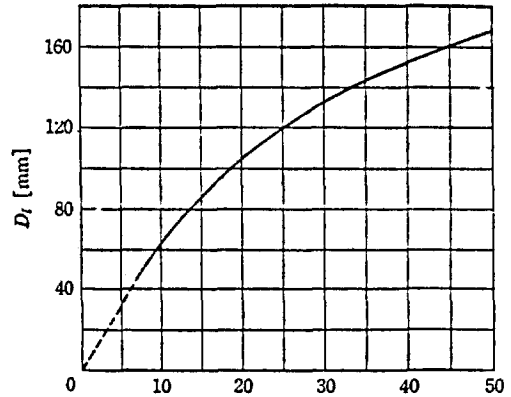
그림 3. 각가지 마르텐사이트량의 조직의 경도와 C량의 관계

50% Martensite 일때의 경도를 확인하여, 동일 강재의 Jominy Test에서 그 경도가 얻어진 Jominy 거리를 알아 그림 2를 적용하면 D_1 를 간단히 알 수 있다.

3. DH의 계산(조미니 경도계산)

① D_1 를 이용한 방법(Field법)

이 방법은 D_1 를 계산한 후 이를 이용하여 조미니경도를 예측하는 방법으로 조미니시편의 수냉단 경도는 탄



수냉단에서 50% 마르텐사이트까지의 거리 [mm]

그림 2. 一端담금질試驗에서의 50% 마르텐사이트組織까지의 거리와 D_1 의 관계

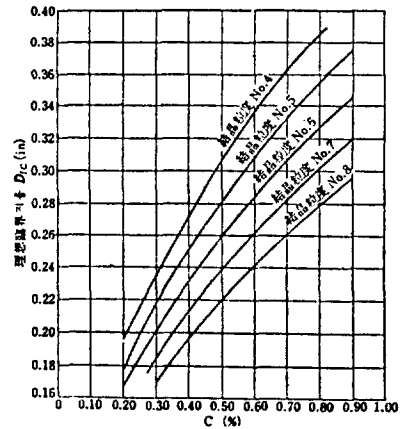


그림 4. 理想臨界지름 D_1 과 炭素量 및 結晶粒度的 關係

소량에 의하여 결정되고, 수냉단에서 일정거리의 경도(DH)는 D_1 에 관계되며, IH와 DH는 그 비율이 D_1 와 함수관계라는 전제 조건하에 이루어진다.

즉 그림 4에서 탄소량과 입도에 의한 D_{1C} 를 구하고 그림 5에서 합금원소에 의한 담금질성 배수를 구하여 D_{1C} 에 곱하면 D_1 를 얻을 수 있다.

다음, 그림 6에서 IH를 구하면 그림 7에서 조미니 거리에 따른 D_1 에서 IH/DH값을 구할 수 있으며 여기서 IH를 알고 있으므로 DH를 구할 수 있다.

즉 이 방법에 의하여 D_1 를 알고 있는 강재의 Jominy 곡선을 그릴 수 있다.

② Crafts & Lamont법

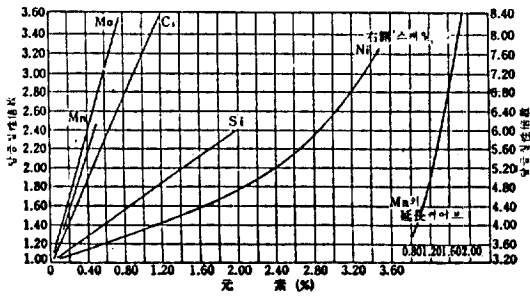


그림 5. 添加元素의 담금질성배수

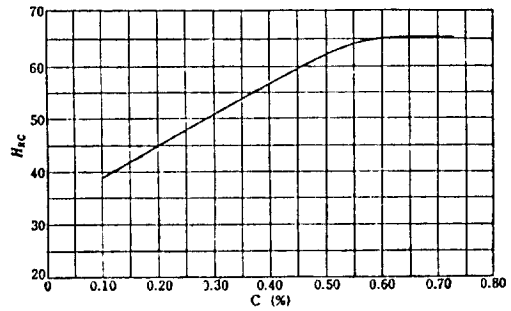


그림 6. Hrc와 C%와의 관계

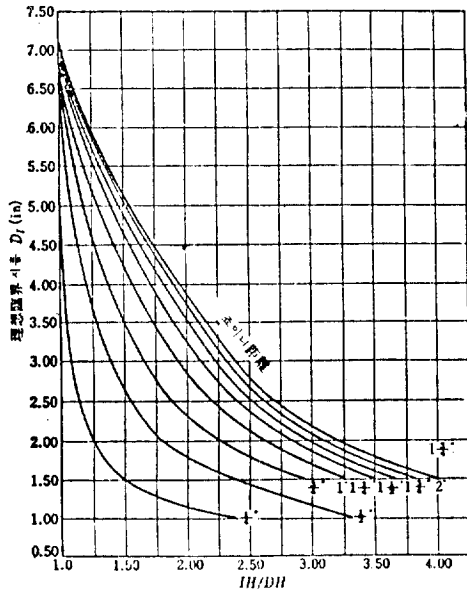


그림 7. D_1 와 IH/DH 와의 관계 ($P=0.020\%$, $S=0.020\%$, 結晶 粒度=8)

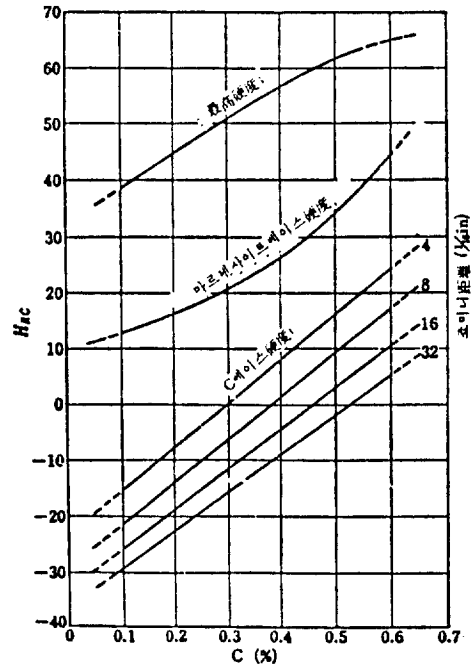


그림 8. C%와 C 베이스 硬度, 마르텐사이트 베이스 硬度, 最高 硬度와의 관계

일명 가산법이라고도 하며 탄소량, 합금원소량 및 입도의 영향이 경도에 미치는 HRC 경도치를 가산하여 산출하는 방법이다.

그림 8에서 탄소함량과 조미니 거리에 따른 C 베이스 경도를 구하고 그림 9에서 합금원소 및 입도에 의한 경도를 구하여 합한 후, 다시 그림 8을 이용하여 탄소함량에 따른 마르텐사이트 베이스 경도를 확인하여, 이 경도값보다 작으면 그대로 사용하고 반대로 합한 경도가 그림 8의 마르텐사이트 베이스 경도보다 높으면, 그림 10에서 탄소함량과 합한 경도에 따른 중국 경도를 산출하여 사용하는 것이다.

이 방법에 의해서도 조미니 실험을 하지 않고 각 부위

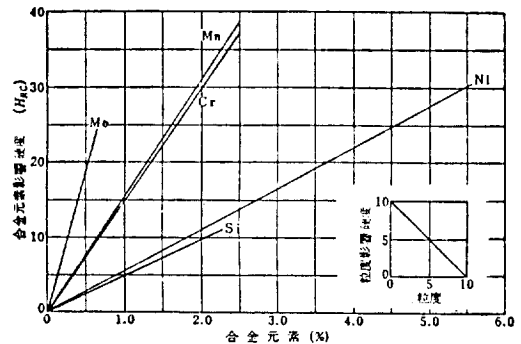


그림 9. 合金元素에 의한 影響 硬度

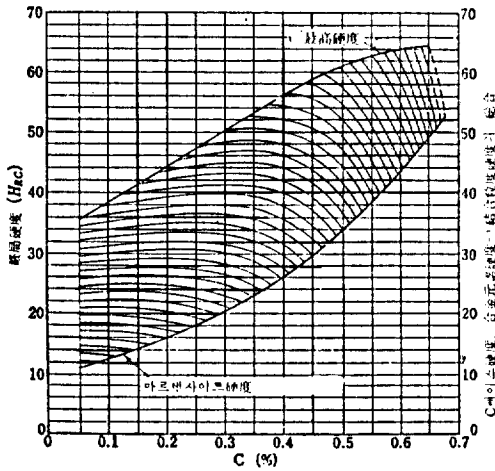


그림 10. 담금질 경도를 구하는 모노그래프

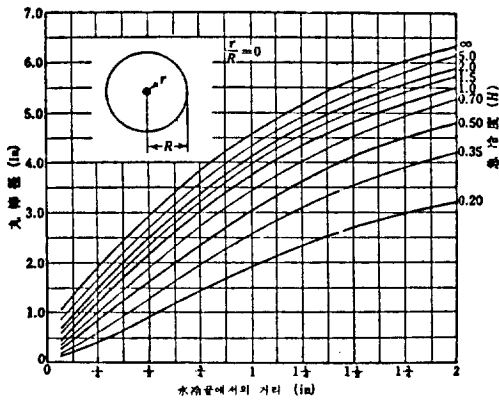


그림 12. 봉지름-조미니거리-H의 관계($r/R=0$ 의 경우)

별 경도를 알 수 있어 조미니 곡선을 예측할 수 있다.

4. 단면경도의 산출

이제까지 열거한 방법으로 담금질액의 냉각속도(H)를 알고 조미니 경도곡선을 계산 또는 Data에 의하여 알면, 그 강재의 임의의 크기의 제품을 담금질했을 경우의 단면경도 분포를 알 수 있다.

어떤 강종의 조미니곡선이 그림 11과 같을 때 그림 12~22의 환봉의 단면내의 각부위의 냉각속도가 조미니 시험편에서 어느 위치의 냉각속도와 같은가를 나타낸 그림을 이용하여 단면경도를 추정할 수 있다.

즉 지름 4 inch의 중심경도는 그림 12에서 수냉단 거리가 $\frac{16}{16}$ inch이므로 그림 11에서 HRC경도를 알 수 있고

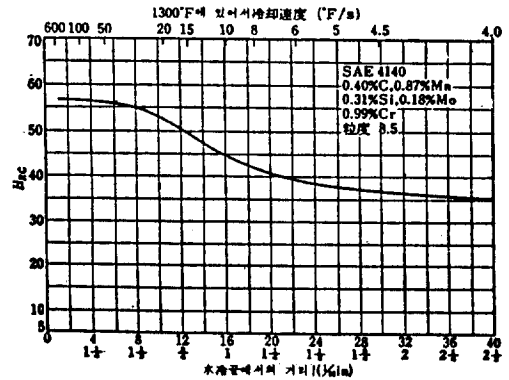


그림 11. SAE 4140 鋼鐵의 조미니곡선.

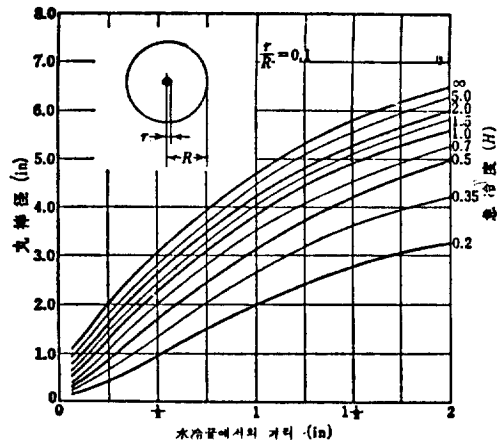


그림 13. 봉지름-조미니거리-H의 관계($r/R=0.1$ 의 경우)

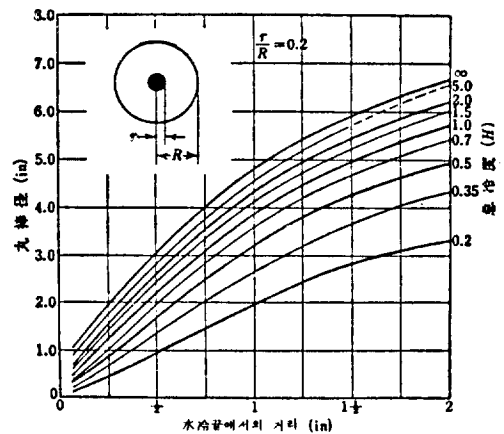


그림 14. 봉지름-조미니거리-H의 관계($r/R=0.2$ 의 경우)

이러한 방법으로 각 $\frac{r}{R}=0.1$ 비율의 깊이마다 그 경도를 추정한다.

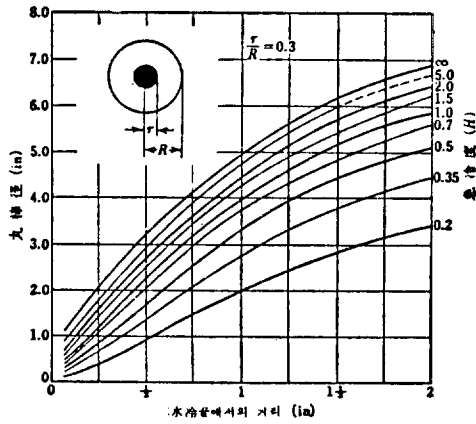


그림 15. 棒지름-조미니距離-H의 관계($r/R=0.3$ 의 경우)

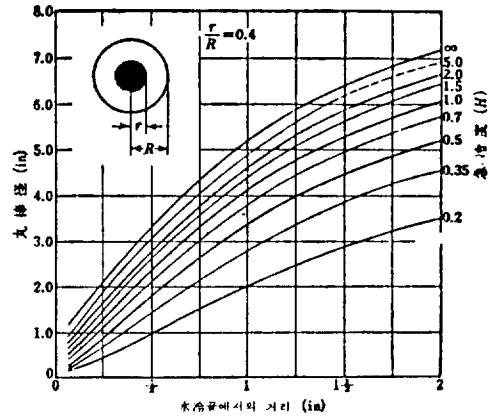


그림 16. 棒지름-조미니距離-H의 관계($r/R=0.4$ 의 경우)

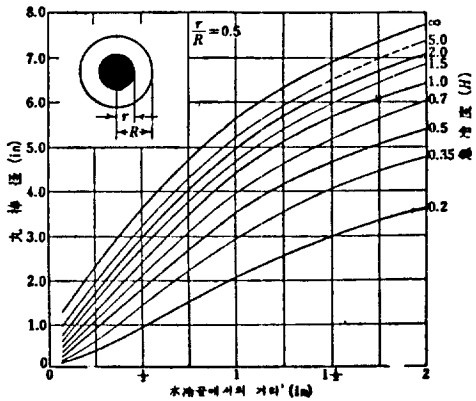


그림 17. 棒지름-조미니距離-H의 관계($r/R=0.5$ 의 경우)

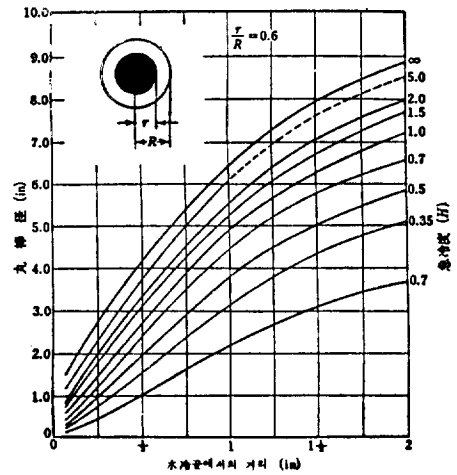


그림 18. 棒지름-조미니距離-H의 관계($r/R=0.6$ 의 경우)

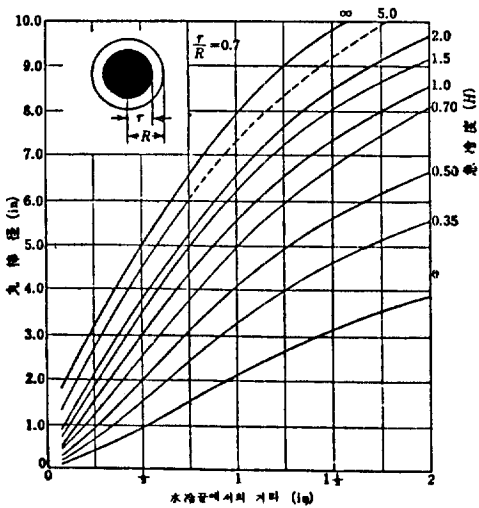


그림 19. 棒지름-조미니距離-H의 관계($r/R=0.7$ 의 경우)

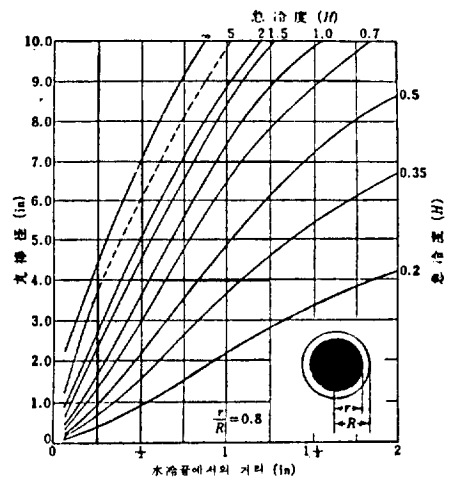


그림 20. 棒지름-조미니距離-H의 관계($r/R=0.8$ 의 경우)

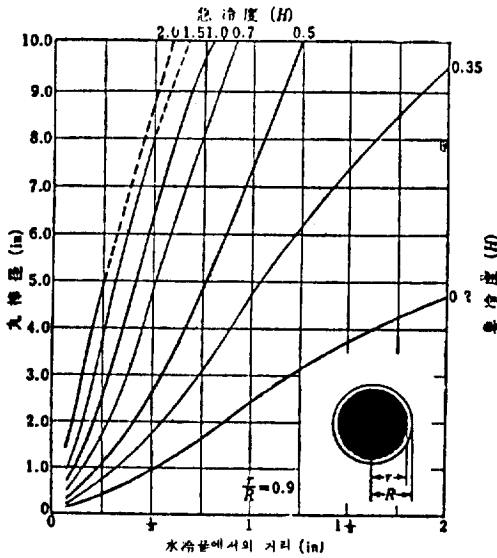


그림 21. 棒지름-조미니距離-H의 관계($r/R=0.9$ 의 경우)

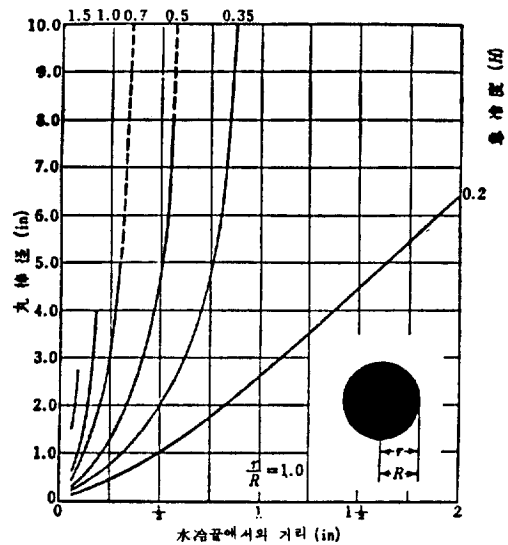


그림 22. 棒지름-조미니距離-H의 관계($r/R=1.0$ 의 경우)

5. 경화능의 이용

이제까지 설명한 경화능 계산법이 현장적으로 많이 이용되고 있지 않는 까닭은 우선 이 분야에 대한 이해가 적고, 이러한 것을 정확히 계산해야 할만큼 타 분야의 품질 결정요인들이 안정돼 있지 못하며, 또 계산은 정확히 하지 않았지만 대략 그러한 관점에서 이제까지 열처리 되어왔기 때문으로 사료된다.

그러나 제품의 정밀도가 한층 요구되고 따라서 열처리 공정의 모든 부분이 자동화가 가능할 정도로 안정되면, 규칙적이고 신뢰도 높은 열처리 결과를 예측하여 작업을 진행시켜, 시행착오도 줄이고 품질수준을 높이기 위해서는 상기의 방법들이 매우 중요하게 부각될 것이다.

근래 강제선택의 정확성 뿐 아니라 경제성을 제고하기 위하여 이제까지 많이 사용돼 온 중탄소강 뿐 아니라, 특히 저·고 탄소강 및 보론강등의 강제선택에 대한 Computer On-Line System 구축에 있어서 강제선택의 중요성과 함께 강조되고 있다.

이 분야에 대한 연구는 International Harvester

Company에서 CHAT(Computer Harmonized Application Tailored Process)라 하여, 경화능 계산에 의하여 합금설계 및 경제성을 고려한 재질선택을 하고 있으며, 프랑스의 Creusot-Loire Corporation에서는 CT 상태도를 이용하여 경도와 조직에 의한 기계적 성질을 계산하고 있다. 또 Minitech Alloy Steel Information System 이라하여 강종의 조미니 곡선의 변화 및 알려지지 않은 강종별 조미니 곡선을 연구하고 있다.

이와같이 경화능 계산은 분질제고, 재질선택, 합금설계등에서 경제성을 제고할 수 있는 이점이 있어 이의 원활한 활용이 기대된다.

참고문헌

1. 열처리 기술편람-일본철강협회
2. 강의 열처리-일본철강협회
3. Principles of Heat Treatment of Steel-ASM
4. 알고 싶은 열처리-Nachi 열처리
5. Metal Hand Book Vol 2-ASM
6. 철강재료의 선택 Point-大和久重雄